

運動習熟とダイナミック・ステレオタイプの再考  
～エネルギー供給系と運動習熟の連関～

山崎 健(新潟大学)

## トレーニングの課題

---

- ▶ 尾縣(2004)は、「しかし、「砲丸が力強く押せない」「後半で腰が落ちてしまう」ことの主たる原因は、体力レベルが低いことであり、動きだけを意識しても修正できないことが多いのである」と指摘し、技術と体力の関係を踏まえた指導の在り方を提言
- ▶ 綿引(1990)は、「コーディネーション」という旧東独の概念から、テクニクトレーニングと筋力トレーニングを結びつける重要性を指摘
- ▶ 小林(2001)は、「動作認知型トレーニング」という概念で、脚部の動きをシミュレートしたスプリント型や跳躍踏切型のトレーニングマシン、自転車型スプリントパワートレーニングマシンなどを作成し、短距離から中長距離までの種目で記録改善の効果を報告
- ▶ 猪飼(1973)は、 $P = C \cdot \sqrt{E(M)}$ との回帰式を示し、パフォーマンス(P)が、サイバネティクス(C)の制御系と総体としての化学的エネルギー系(E)及び意欲(M)によって決定される概念を提示



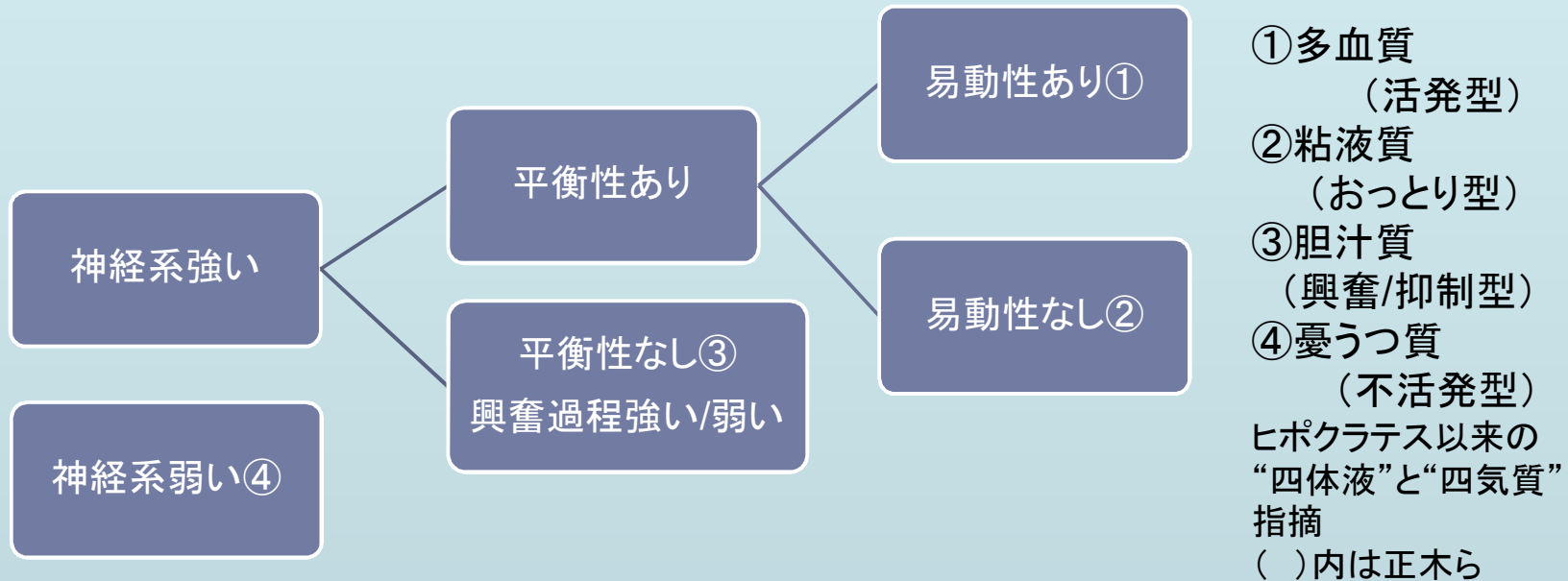
## パブロフの指摘した「動的なステレオタイプ」

---

- ▶ パブロフ自身が、1932年第10回国際心理学会講演で、「動的なステレオタイプ」の概念を発展させ
- ▶ 「強い神経系の型」を持つ動物の実験において、複雑な刺激に対する協調的で平衡のとれた内部過程の系列が、無条件反射と条件反射との相互作用の結果として形成されることを指摘
- ▶ 固定された古いステレオタイプが新しいステレオタイプにその位置を譲る過程での困難さ
- ▶ 神経症の発症になどについても言及



# 「神経系の型の学説」と「二つの信号系」



第一信号系

感覚による記憶 - 行動系(具体的思考)

パブロフ研究所: チンパンジー・ラファエリの“水”の概念  
(コーガン、1962)

第二信号系

言語による記憶 - 行動系(抽象的思考)

最近のネアンデルタール人の言語機能と遺伝子の関連  
(NHK放映: 石器の形状の進化、2015)

# 「ルリア・テクニック」と「GO/noGO課題」

---

## 外言 - 内言 による運動の制御

子どもの随意運動の発達:

外部からのバルーンを“押す”「外言」の「内言」への転化

Voluntal-Volitional Loop による運動の制御と運動習熟

(山崎、1983)

## GO/noGO課題

赤ならバルーンを「握る」、黄色なら「握らない」

子どもの条件反射形成における「型の学説」(発達と型の移行:野井ら、2013)

反応時間における事前予測とGO/noGO課題(山崎、1989)

---



## コーガンの指摘(1959)

---

- ▶ 刺激の動的ステレオタイプについて「刺激のステレオタイプとは、空間的、時間的に一定の順序で配置され、いつでもその順序で繰り返される刺激の集合をいう」
- ▶ 「刺激のステレオタイプの分析と総合の結果、これらによって引き起こされる反射の恒久的なステレオタイプができあがる」「ステレオタイプは状況の若干の変動に関わりなく、適当に反応することを可能にする」として「動的ステレオタイプ」について言及(コーガン, 脳の分析 - 総合活動 In 脳生理学の基礎(上・下), 1963年邦訳)
- ▶ 上巻ではいわゆる「古典的条件反射」、下巻では動物の「運動条件反射」について解説されている



## 旧ソ連のスポーツトレーニングの理論

---

- ▶ 運動習性の形成について、伸展反射や緊張反射などの無条件運動反射をバックとした条件運動反射であり、運動習性形成の法則はパブロフの条件反射の法則に従う
- ▶ その条件刺激が視覚、触覚、聴覚、空間、時間、固有（受容）感覚から構成される
- ▶ パブロフが定義した高次神経活動の「強弱」「均衡性」「易動性」からなる4つの型の学説と、感覚的な第1信号系と言語的な第2信号系の関係についても指摘
- ▶ 「基本的な運動習性の自動化が高い水準に達し、運動のダイナミック・ステレオタイプを完璧に再現し」「高度の自動化と意識的な運動の調整の融合が、スポーツ技術完成のために必要である」(オゾーリンら, 1966)



## 旧東独の陸上競技教程(シュモリンスキー, 独版1963)

---

- ▶ 旧東独における運動習熟にかかわる「技術の形成」について, パブロフ理論とともにマイネルによる運動学習
  - 1.粗協調
  - 2.精協調
  - 3.安定化と定着化, の3つの位相の存在を指摘
- ▶ 「自動化された運動は, それに対して意識が関与することなく行われる」「それにより競技者は, 注意を特定の運動のポイント, 例えば, 跳躍練習の場合なら, 踏切に向けることができるようになる」

(シュモリンスキー, 陸上競技教程, 邦訳1982)





## マイネルの運動学習の位相理論(1960)

---

- ▶ 運動学習の三段階論について、は、1)位相A:粗形態における基礎経過の獲得, 運動の「粗協調」, 2)位相B:修正, 洗練, 分化, 運動の「精協調」, 3)位相C:定着と変化条件への対応, 運動の「安定化」の三段階を指摘(マイネル, 邦訳1980, 1981)
  - ▶ オゾーリン(1966)は同様に「全習 - 分習 - 全習」の三段階を指摘
  - ▶ 芝田(1961)は、認識過程の三段階について
    - 1)混沌性の段階:現象,あるいは状況の全体について混沌たる表彰を持つ
    - 2)分析の段階:現象,あるいは状況を個々の部分にわけ,そのエレメントの性質を反映する
    - 3)総合の段階:個々の部分の相互連関を反映し,そこから全体を作り上げる
- 



## 運動学習の第二段階の矛盾(山崎, 1986)

---

### ▶ この第二段階における「主観的困惑」の発生

「認識の分化と意識化の進行に対応して『個々の修正』が可能となる

この『初期的融合による配列の結合』を保証してきたキャラクターユニットの崩壊は、一方ではマイネルの指摘するように該当する部分の『言語的』意識化と伝達が可能となり運動系の学習が進展したことを意味する

他方では獲得されるべき対象の『主要な単位』からの『個々の要素の遊離』による運動遂行の障害の発現を意味するものであり、この『矛盾した性格』の存在は、一種の『主観的困惑(今迄できていたものができなくなる)』をたらすものである



## 運動習熟とダイナミック・ステレオタイプの概念

---

- ▶ 邦訳されている旧ソ連の文献(ヤコブレフ:1966、プーニ:1967、クレストフニコフ:1978)でも同様の見解をとっており、条件反射学のパブロフ理論を基礎として、旧東欧圏のスポーツ・トレーニング理論の動作系の学習理論を中心として形成されてきたもの
- ▶ 旧東独のトレーニング理論では、マイネルらの「運動学」との併記(融合ではない模様・・・?)もなされている
- ▶ Harreの“Trainingslehre(1986)”では、P.K.AnochinやN.A.Bernsteinを引用・評価している模様



## ベルンシュタインの評価

---

- ▶ ベルンシュタイン(1940年代後半に書かれた「デクステリティ」の邦訳は2003年)は, 系統発生性を反映した「運動構築の水準」という概念から動物から人間に至るまでの巧みな運動を実現するメカニズムを提示
- ▶ 運動構築の水準は, 一見同様の「円を描く」動作であっても…

緊張のレベルA

筋-関節リンク(シナジー)のレベルB

空間のレベルC1/C2

行為のレベルD



## ワイズマンの要約では・・・

- ▶ 「例えば水準A はきわめて早くピアノの鍵を叩く、すなわち一分間に6 - 8回の頻度でまったく同一の楽譜あるいは音階を繰り返して弾き、たびたび指先と前膊を小さな円状(あるいはだ円状)に動かす。水準Bは体操や舞踊運動の遂行順序に従って、空中に手で円を描くことができる。水準C, 人は、紙に描かれた円あるいは消去された円にそって、鉛筆でなぞることができる(水準Cの1), あるいは目の前にある円を模写することができる(水準Cの2)。水準D, 人は針で縫う, 結び目をほどくなどの手の円運動をすることができる。水準E, 人は幾何学の定理を証明するに際して、黒板に証明のための図の一部分としての円を描くことができる。」
- ▶ 「これらすべては、あるいはより大きな、あるいはより小さな類似した円運動であるが、列挙した全ての例において・・・その構築の水準は本質的に相異なっている。」と解説



## 系統発生性と個体発生性

---

- ▶ ベルンシュタインの「運動協応」の概念は、冗長な自由度を持つ身体運動の制御に「背景レベルと背景調整」といういわばレディメイドともいえる「制御を組織化し感覚調整の助けを借りて実現する」潜在的システムの存在を示した画期的な概念
- ▶ 工学系の運動制御理論では「ベルンシュタイン問題（膨大な自由度の巧みな制御）」とそれを実現する「筋シナジー」がトレンド？
  - ⇒ ただし「系統発生性」については全く触れられない
  - ⇒ ロボット工学の分野では「シナジーの生起」はない？



## 旧ソ連のクレストフニコフの評価

---

- ▶ クレストフニコフ(1951:邦訳1978)は、「ベルンシュタイン教授は、生力学的研究に基づき、運動構造の学説の構成を試みた。彼はその著書で、概念論的および機械論的な認識の上に立って、パブロフの唯物論的学説を批判し、高く評価しなかった。ベルンシュタインの説によると、運動習熟の形成は**複雑な条件反射によらないものとされ、**
- ▶ 更に彼は、協応という概念により“高次の”内容を認めて、協応の概念と反射の概念とを対立させた。ベルンシュタインは協応に対しては特殊器官“大脳の協応系(運動構築基準)”が存在するとしているが、これは基本的に正しくない。現代の生理学的考察によるとどんな反射も多かれ少なかれ複雑な協応にほかならない。協応性とは、中枢神経系のあらゆる部分の基本的な機能である。」



## 系統発生性を否定？

---

- ▶ 「ベルンシュテインが取り上げた“運動構築基準”は中枢神経系を機械的に区分するものである。すなわち一定の基準を決め、これに対応するこの運動習熟の形成を図ることは、全く思弁的なやり方である。この運動構造に関するベルンシュテインの学説は反動的なものである。この考えは有害であり、運動習熟に関する我々の理解を何十年も後退させるものである。」
  - ▶ 「協応及び筋の出力の度合いによって様々な難度を持つ運動の習熟は、すべての学習及びトレーニングの過程に関する正しい方法論的立場から、初めて正しく説明することができる。運動習熟の形成およびその完成を図る場合には、主な教育学上の原理を守ることに大きな意義がある。この原理とは、1)意識性および積極性、2)系統性、3)明快性、4)直観性、5)緻密性である。」と批判
- 





## 山崎の評価は？

---

- ▶ ところがこの本が1956年に東独で出版された独訳版ではこの記述は削除のされており、同じ東欧圏とはいえ複雑な事情が垣間見えて興味深い
- ▶ ベルンシュタインの「The coordination and regulation of movement」は 1967 年に英国で出版され、「Bewegungsphysiologie」(若干構成が異なる)は東独で 1975 年に出版
- ▶ ベルンシュタイン(1967)は、運動の協応と調整において、個々の筋群が個々の上位の遠心性中枢から神経支配を受けていること、またこの上位の遠心性中枢について、chain と comb という概念を示した
- ▶ 旧ソ連圏とは異なり欧米でのベルンシュタインの評価は高く、複雑な動作系において特定の筋群が協同して働くとする「シナジー」の概念は現在の動作の複雑系解析のトレンド



# Chain & Comb の概念

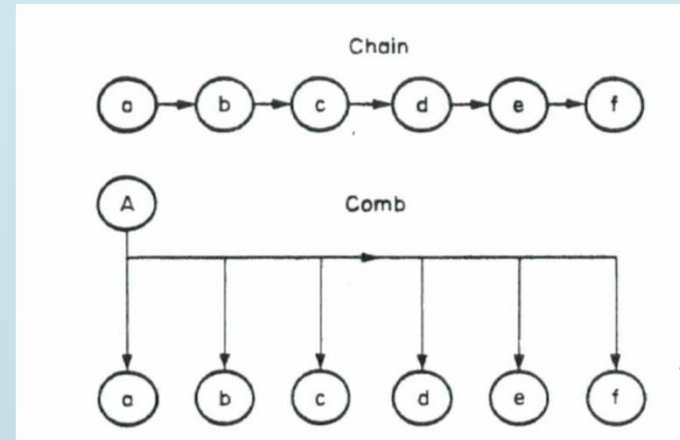
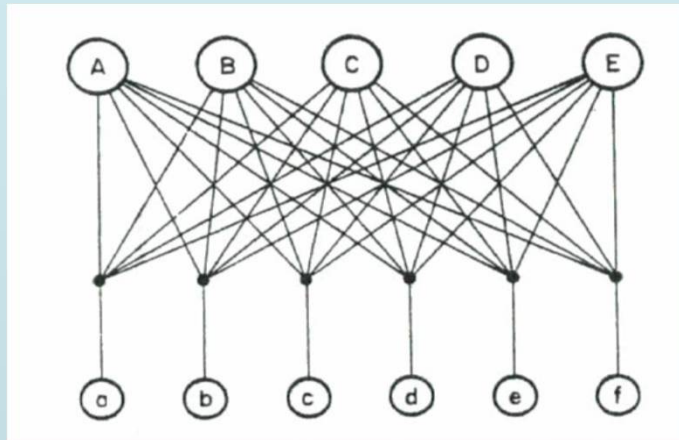
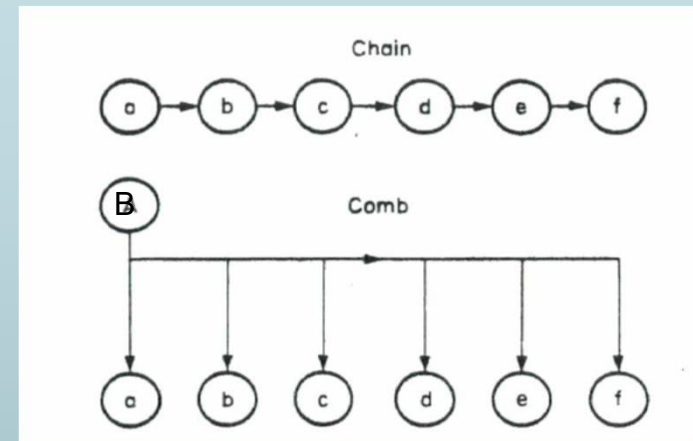


図1 6つの筋が5つの上位遠  
心中枢から神経支配を受けて  
いる(左)

「鎖」と「櫛」の概念(右)は「筋  
シナジー」の根拠とされる  
(Bernstein, 1967)



## アフォーダンスと運動の自己組織

---

- ▶ 1984年に出版された“ HUMAN MOTOR ACTION  
Bernstein Reassessed”

H.T.A. Whitingの編集により, 1934年から1962年にかけて発表された N.A. Bernstein の6つの論文について, 現代の著名な研究者たちがそれぞれに2編ずつ最新の知見から再評価を行った文献

- ▶ このBernsteinの4番目の論文である “SOME  
EMERGENCY PROBLEMS OF THE REGULATION  
OF MOTOR ACTS(1957)” についての再評価が, M.T.  
Turvey と P.N. Kuglerの論文 “AN ECOLOGICAL  
APPROACH TO PERCEPTION AND ACTION”



## 認知心理学の生態学的アプローチ

---

- ▶ 佐々木(1994)はソムリエや聴香師などの「わざ」に関わっての「知覚システムの束」の重要性を指摘
- ▶ 初期の認知科学の「情報処理モデル」(刺激が頭の中で加工された結果としての情報)に対置するギブソンの「生態学的認識論」(周囲にある環境に情報《持続・面の配置と変化・面の変化》を「探索する」こと)
- ▶ 「生態学的価値」としての身体にとっての「意味」や「価値」, 「する抜けられるすき間」「上れる段」「つかめる距離」としての「アフォーダンス」の概念を紹介(Turveyらの図を参照)



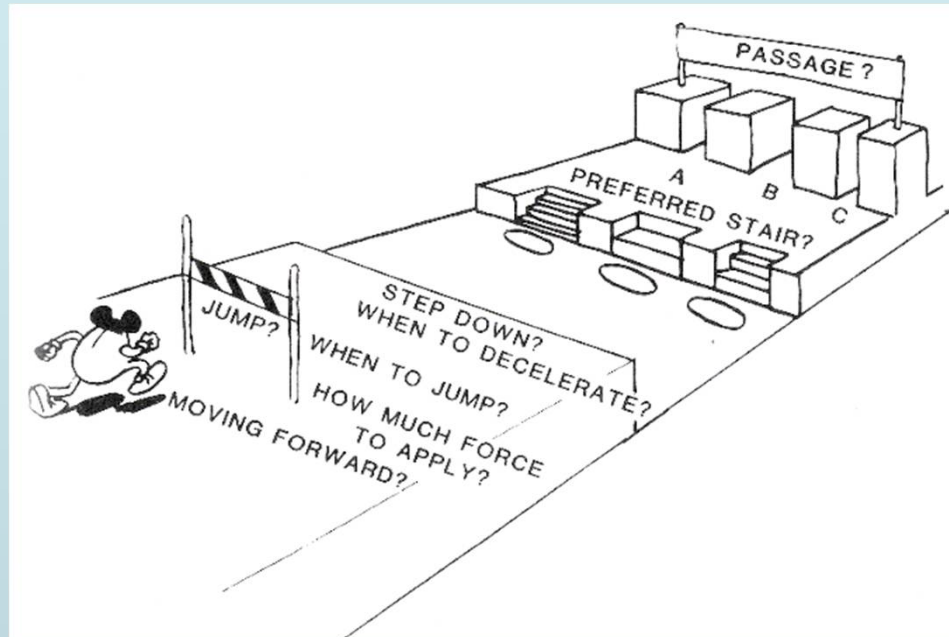
## ベルンシュタイン問題

---

- ▶ 上位からの制御プログラムによる「古典的な運動制御モデル」に対して「このモデルは現在でも、運動の制御を考えるわれわれの常識の一部である。しかし、このモデルはやっかいな問題を抱えている。」
- ▶ 「ベルンシュタイン問題(膨大な自由度の制御と動作の文脈依存性)」を示し、更に「瞬間的な運動の制御」(100ミリ秒以下で「反応時間」よりも短い)における知覚情報 - 運動処理プロセスの例として、Bootsma による卓球のスマッシュ時における「調整」の例を紹介
- ▶ ただし示唆には富んでいるが「実体」が見えない・・・



# 示唆に富んでいるシエーマ



「する抜けられるすき間」  
「上れる階段」  
「つかめる距離」  
としての「アフォーダンス」  
の概念

図2 A small sample of the meaningful problems that the surrounding layout poses for a locomoting animal. (Turvey & Kugler: 1984)

## 多賀の指摘

---

- ▶ 「神経系＝制御系，身体＝被制御系，環境＝外乱」という『従来の定式』に対して，システムの要素を足し合わせてもシステム全体の性質の決まらない「非線形性」という概念からアプローチ
- ▶ 「自己組織としての非線形振動子の引き込み現象」としての歩行の神経 - 筋骨格系モデルを提示
- ▶ 最も遅い系に引き込まれるスレイビングという概念に対して，シナジェティックという，システムを構成する多数の要素が相互作用により全体としての秩序を生み出す協力現象の概念
- ▶ 環境の不確実性に対する「グローバルエントレインメント（大域的引き込み）」による「脳と環境の強結合」の可能性を指摘



# Shik、Severin & Orlovskyの徐脳ネコでの歩行実験

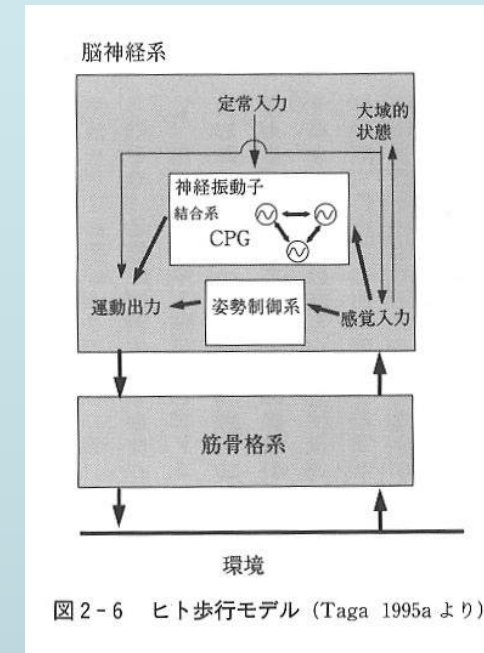
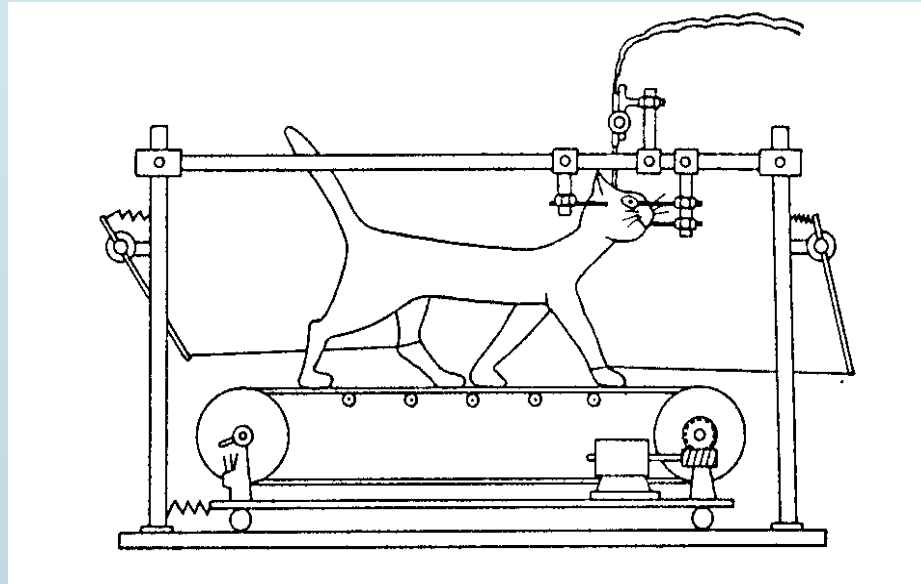
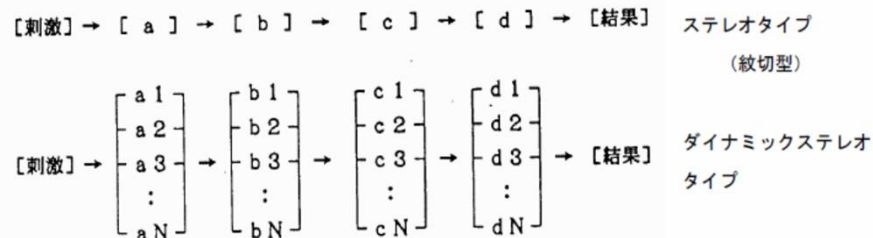


図 2-6 ヒト歩行モデル (Taga 1995a より)

- ▶ 電気刺激強度上昇と移動速度増大でウォークからトロット、ギャロップへの四肢歩行位相の変化が、外的環境との相互作用の中で、**環境からの情報にも柔軟に応答して決定されること**を引用し、計算論的脳科学の内部モデルは「運動遂行のメカニズム」は説明しても「運動の生起」を説明してはいないとした



# ダイナミック・ステレオタイプのモデル化



第1図 ダイナミックステレオタイプとステレオタイプの比較

※ a1~aNは、aというプロトタイプの外的环境の変動に対応するサーボ制御の幅を示す。

図3 ステレオタイプとダイナミック・ステレオタイプ(山崎、1986)

しかし実体は「ブラックボックス」で不明



図4 前庭動眼反射の回路図(伊藤, 1992)

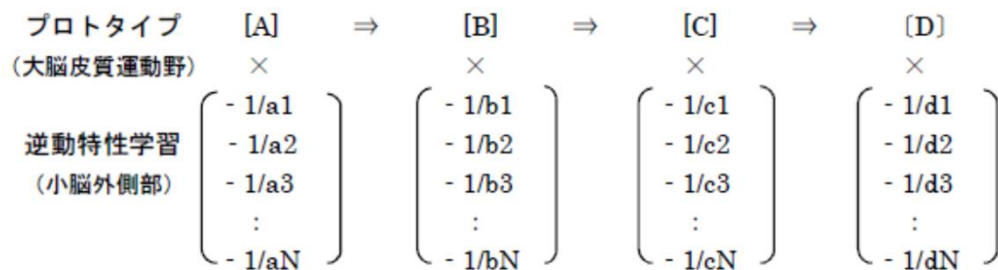


図5 ダイナミック・ステレオタイプの神経回路モデル(山崎、2004)

# 一方“計算論派”とされる川人光男(1988)は

---

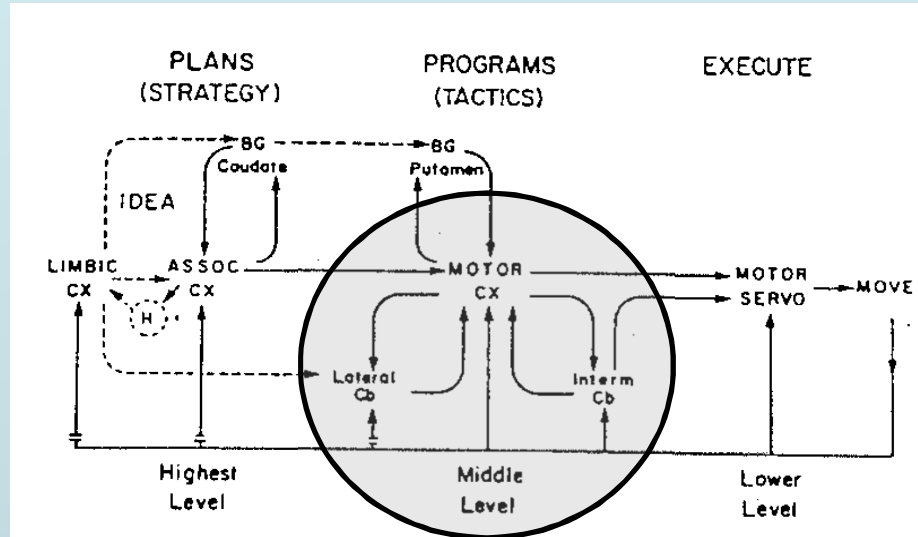
## ▶ 随意運動学習の階層制御モデル

連合領から運動領に身体座標であらわされた望ましい運動軌道を送り、運動領で各筋肉が発生すべき張力(トルク)が計算され、脊髄運動ニューロンから運動系に運動司令が送られ、筋や骨格などの運動系が環境系と相互作用しながら運動パターンを実現するとする

この際、学習初期では小脳傍虫部(内側小脳)で遅いフィードバック系としての「運動系の順システム」が形成され、その後運動学習の進捗により小脳外側部(外側小脳)で結果のフィードバックを受けない速いフィードフォワード系として「運動系の逆システム」が形成されるという階層モデルを提示



# Brooks (1986) の運動情報の流れのシエーマ



小脳内側部での順システム形成や小脳外側部の逆システム形成は、運動学習における動作のプロトタイプのすばやい制御を可能とし、運動習熟を実現するうえでのきわめて重要な概念であると考えることができる

図6 Brooksによる運動情報の流れのシエーマ(1986)

BG Coudate: 大脳基底核・尾状核 BG Putamen: 被核

LIMBIC CX: 辺縁皮質

ACCOC CX: 連合皮質 MOTOR CX: 運動皮質

MOTOR SERVO: 動作サーボ

Lateral Cb: 外側小脳 Interm Cb: 内側小脳 H: 海馬



## パフォーマンスを決めるもの

---

- ▶ 猪飼の回帰式,  $P = C \cdot \int E(M)$

C:サイバネティックス, E:科学的エネルギー, M:意欲

(猪飼, 1976年)

- ▶  $P = s_1 \times r_1 + s_2 \times r_2 + s_3 \times r_3 + \dots + s_N \times r_N$ という重回帰式

ハイパワー系(ATP-PCr系)

ミドルパワー系(解糖系)

ローパワー系(有酸素系)

から構成されるエネルギー供給系(r)が, それぞれに応じたスキル(s)と密接に関連してパフォーマンスを決定するモデルを提示(山崎, 1986年)

---



## ベルンシュタイン問題ではないが・・・

---

- ▶ 3つのエネルギー供給系は運動の継続的实施によって個別に変動(減少)することから、**全く同一の運動スキルに依存しては運動システムに破綻を招き、最適なパフォーマンス発揮は実現できない(2015)**
- ▶ 運動の高次な自動化は、環境系の外乱への対応だけではなく、身体状況の変化(エネルギー供給系の減少など)にも対応して**総体としての運動経過に破綻をきたさないためにも必要なもの**
- ▶ 「運動習熟」へのエネルギー供給系からのアプローチが必要(山崎, 運動習熟とダイナミックステレオタイプの再考, 2006)



# 筋の3×3システム

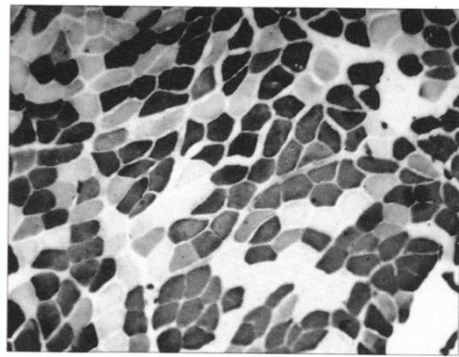
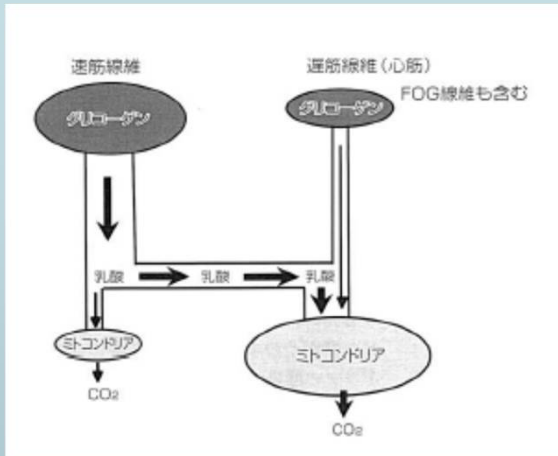


写真5-2 筋線維の分布 (武藤ら, 1983年)  
 黒く見えるのは遅筋線維 (タイプI)、白っぽく見えるのは速筋線維 (タイプII aとII b)。

筋線維タイプ	遅筋線維		速筋線維	
	タイプ(SO)	タイプIa(FOG)	タイプIb(FG)	タイプIIb(FG)
ミオシンATPアーゼ活性	●			●
代謝酵素				
解糖系酵素	●	●	●	●
酸化系酵素	●	●	●	●
代謝基質				
グリコーゲン	●	●	●	●
中性脂肪	●	●	●	●
毛細血管密度	●	●	●	●



エネルギーをつくり出すシステム

## 動きをつくり出すシステム

	Type I	Type II a	Type II b
ATP-PCr系	△	◎	◎
解糖系	○	◎	◎
有酸素系	◎	○	△

## 解剖学的運動方向と運動学的運動方向

---

- ▶ 野崎(2014)は「筋活動の冗長性」について、股関節と膝関節をまたぐ「二関節性」の大腿直筋の収縮方向を決定する至適方位(**preferred direction: PD**)のベクトルに関連して、股関節や膝関節だけに関与する「単関節性」の大殿筋や内側・外側広筋が、連動して活動する際には、本来の固有の運動方向(**mechanical pulling direction: MD**)とは異なる方向(PD)のベクトルを発揮することを指摘した



# マルチレイアシステム

## 動きをつくり出すシステム

		Type I	Type II a	Type II b
エネルギー をつくり出す システム	ATP-PCr系	△	◎	◎
	解糖系	○	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△

上腕二頭筋（屈筋側）

## 動きをつくり出すシステム

肘関節周りの拮抗筋（それ以外の筋も関与）

上腕三頭筋（伸筋側）

エネルギー  
をつくり出す  
システム

		Type I	Type II a	Type II b
エネルギー をつくり出す システム	ATP-PCr系	△	◎	◎
	解糖系	○	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△





# 実際の長距離レース中の動作変容

	2000m			4800m			8800m		
	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed
Sub.A	○*	◎	○	○*	◎	×	×	◎	×
Sub.B	◎	×	×	△	◎	◎	◎	◎	◎*
Sub.C	×	○	×	×	○	×	×	◎	○*
Sub.D	○*	○	○*	×	◎	×	×	◎	◎*
Sub.E	◎	△	◎*	△	◎	△	◎	×	○
Sub.F	△	◎	×	○	◎	×	○	◎	○
Sub.G	◎*	◎	○*	×	◎	◎	×	◎	◎*
Sub.H	○*	×	×	×	△	△	○	◎	×

表1 10000mレース中の疾走速度と各因子との決定係数の変容(山崎、2014)  
 疾走速度(Speed)とストライド長(Strd), ピッチ(Pitch), 膝関節進展速度(KnEx)との  
 相関関係(決定係数:R<sup>2</sup>)  
 決定係数(R<sup>2</sup>)の範囲 ~0.64(◎) 0.63~0.25(○) 0.24~0.16(△) \*は負相関



# パフォーマンスのマトリクスモデル

$$Y = \left\{ \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{c} \text{PCr0} \\ \text{PCr1} \\ \text{PCr2} \\ \vdots \\ \text{PCrN} \end{array} \right] \quad \left[ \begin{array}{c} \text{Gly0} \\ \text{Gly1} \\ \text{Gly2} \\ \vdots \\ \text{GlyN} \end{array} \right] \quad \left[ \begin{array}{c} \text{Mtc0} \\ \text{Mtc1} \\ \text{Mtc2} \\ \vdots \\ \text{MtcN} \end{array} \right] \end{array} \right\} \left[ \begin{array}{c} \text{Sm } \alpha \\ \text{Sm } \beta \\ \text{Sm } \gamma \\ \vdots \\ \text{Sm } \omega \end{array} \right]$$

PCr: クレアチンリン酸系, Gly: 解糖系, Mtc: 有酸素系 のエネルギー供給システム とそのレベル(モード)  
Sm: スキルモード(ダイナミックステレオタイプ)

- 前半, 中間, 後半ではエネルギー供給モードが異なる
- 同一のスキルモードに依存しては“破綻する”
- コーディネーションの“生起”の必然性が説明できる?



## エネルギー供給系と運動習熟との連関

---

- ▶ 多賀は、歩行パターンとエネルギー消費の関係について、運動パターンがエネルギー最小の原理に基づいて生成されること
- ▶ 歩行や走行パターンの選択が起こるときはエネルギー効率がより良いほうのパターンを選択すること
- ▶ 多様な運動パターンの生成は、脳神経と身体との相互作用の結果として自己組織的に生ずる可能性を指摘
- ▶ 多賀の指摘する「スレイビング(系全体の振る舞いは遅い変化をする変数だけで決まる)」は運動学習の第二段階に、「シナジェティック(多数の要素が相互作用を通じて全体としての秩序を生みだす協力現象)」は第三段階の運動習熟の形成に対応するもの？(山崎、2011)



## ハイブリッドシステムとドライビングモード？

---

- ▶ 運動習熟の形成は、**それぞれがエネルギー供給系のモードと密接に関連してパフォーマンスに破綻をきたさないために動作系を変容させる**
- ▶ (例) Pcr1とGly1とMtc0であれば最も効率的なものはSm  $\beta$  であり, Pcr3とGly3とMtc1であればSm  $\gamma$  で最も効率的になるように「**連関 (Linkage)**」を変化させ「**調和 (Harmony)**」させる？
- ▶ 運動の継時的実施に伴いエネルギー供給系が変容し, それに応じてランニングスキルも変容
- ▶ **ある時点で最も効率的であった動作系は, 別の時点では他の動作系に変容させることが必要**
- ▶ エネルギー供給系との「**連関 (Linkage)**」を実現してゆくのが本来の意味での運動習熟



## 運動経過のセンサーと動作系の収斂

---

- ▶ 柿木と八田(2015)は、自転車ロードレース中の至適ペダリング頻度(ケイデンス)は、ペダリングパワーとの関連を考慮すると乳酸性作業閾値に収斂するのではないかとの仮説
- ▶ 森谷(1995)は、自転車ペダリング運動時のデータから、最大酸素摂取量の70%の同一の運動でも、ペダルの回転数を1分80回にすると最大筋力の11%出力ですむのに対し、1分40回では17%に達し、回転数の多い方が相対的に動員される筋群が交代できる可能性があることを指摘

このことは、1分80回転のペダリングはトルクが小さいため発揮張力のやや低い筋線維群も動員される(補完的張力の発揮)のに対し、40回転では特定の速筋線維群に限定されるため、いわば「登り坂でのギアチェンジ」に類似した「戦略」が求められ、「乳酸シャトル」を効率的に利用して遅筋系筋線維での乳酸の分解とエネルギー再利用の可能性を示唆



## まとめ

---


- ▶ 陸上競技の試合やトレーニングの場面では、エネルギー供給系は継時的に減少して供給モードが変容する。この際その供給モードと運動スキルを「連関」させ「調和」させて適応制御するプロセスは、パフォーマンスを破綻なく遂行するために極めて重要

- ▶ 従来、「巧みさ」や「コーディネーション」のトレーニングは、神経系のトレーニングであるから「心身ともフレッシュな状況での実施が好ましい(2009)」と考えられているが果たしてそうか？

10秒間での100m走であっても2時間以上を要するフルマラソンであっても、継続される運動経過はエネルギー供給系の減少と関連した運動スキルの変容を要求

- ▶ 八田(2014)は、エネルギー供給システムから考えても「純然たる無酸素系の運動」は現実には存在せず、例え100m走であってもスタートから有酸素系のエネルギー生産機構が働いていることを指摘



- 
- ▶ 3種類の筋線維と3種類のエネルギー生産機構からなる「3×3システム」が複数の筋群に存在し、屈筋群と伸筋群では速筋線維と遅筋線維の構成比率もエネルギー供給システムも異なる
  - ▶ この複雑なシステムを巧みに統合しているものは、中枢からの「制御系」と制御対象の「身体系」及び外乱として作用する「環境系」のトップダウンとボトムアップの相互作用の反復(トレーニング)の中で「シナジェティック」に決定されるエネルギー供給系と運動習熟の「連関(Linkage)」と「調和(Harmony)」
- 
- 

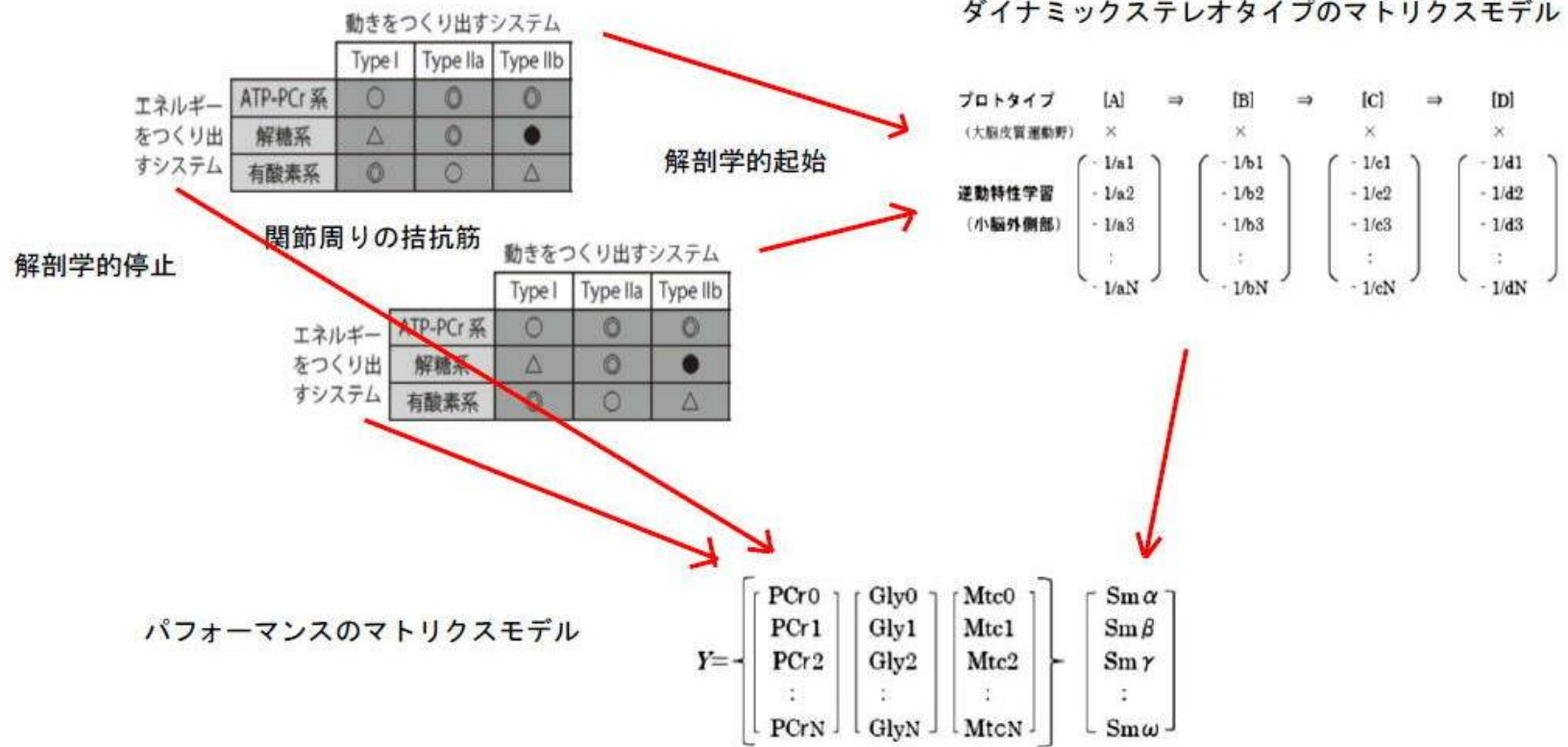
- 
- ▶ 特定の段階でのエネルギー供給系の「モード」に依存しない運動スキルは存在せず、またある段階で求められる運動スキルはエネルギー供給性の「特定のモード」を要求
  - ▶ トレーニングのリアリティは、継続される運動経過のそれぞれの段階でのエネルギー供給系のモードと運動スキルのモードとの「連関」と「調和」の視点から計画・実践されることによって初めて実現される重要な課題

※ 本研究は、科学研究費助成事業(学術研究助成基金・課題番号24500732:H24~26及び課題番号15K01554:H27~29)の一部で行われた。

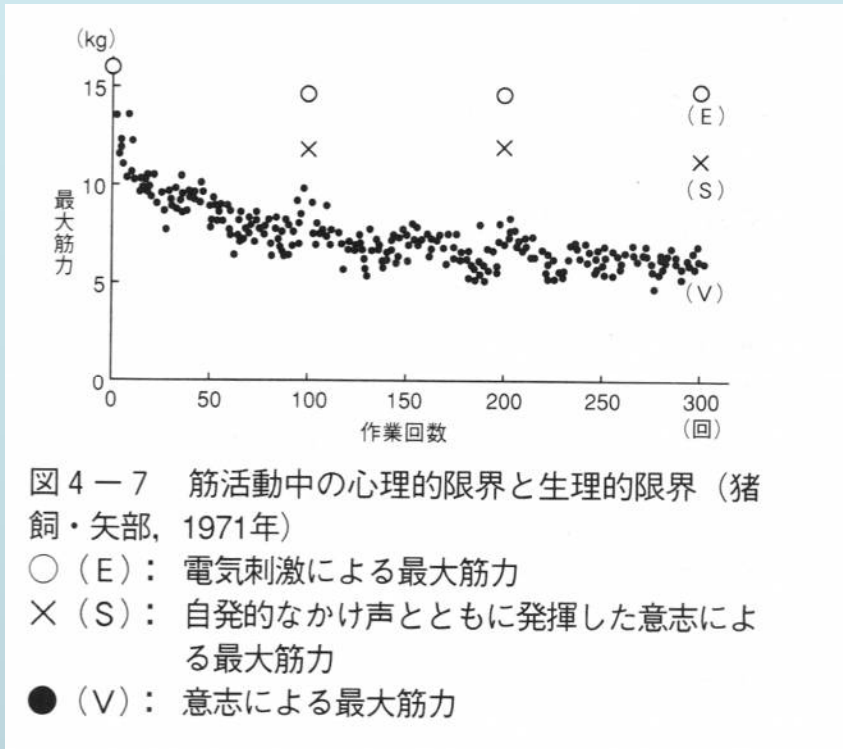




# 現在の到達点は



# “終わり”は“始まり”でした



## 中枢性抑制と“脱抑制”

Type II b × ATP-PCr系のマトリクスが最初に“中枢性抑制”を受ける  
 ⇒ 60回転/分で誘発し、90回転/分に切り替えたらどうなるのか？

### 動きをつくり出すシステム

	Type I	Type II a	Type II b
ATP-PCr系	△	◎	◎
解糖系	○	◎	◎
有酸素系	◎	○	△

エネルギーをつくり出すシステム

